



TUGAS AKHIR - TF 145565

**RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN
TEMPERATUR COOLING WATER CONDENSER PADA
MINI DESALINATION WATER PLANT**

**Putu Wahyu Darmawan
NRP. 105115000000021**

**DOSEN PEMBIMBING 1
Detak Yan Pratama, ST., M.Sc
NIP . 19840101 201212 1 002**

**DOSEN PEMBIMBING 2
Ahmad Fauzan Adziimaa, ST.,M.Sc.
NPP. 1991201711052**

**Program Studi D3 Teknologi Instrumentasi
Departemen Teknik Instrumentasi
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TF 145565

***DESIGN CONTROL SYSTEM TEMPERATURE
CONTROL SYSTEM ON MINI DESALINATION WATER
PLANT***

**Putu Wahyu Darmawan
NRP. 105115000000021**

**Advisor Lecturer 1
Detak Yan Pratama, ST., M.Sc
NIP . 19840101 201212 1 002**

**Advisor Lecturer 2
Ahmad Fauzan Adziimaa, ST.,M.Sc.
NPP. 19912017111052**

**Study Program Of D3 Instrumentation Technology
Department Of Instrumentation Engineering
Faculty Of Vocation
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2018**

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN I

"RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN TEMPERATUR COOLING WATER CONDENSER PADA MINI DESALINATION WATER PLANT"

TUGAS AKHIR

Oleh :

PUTU WAHYU DARMAWAN
NRP.10511500000021

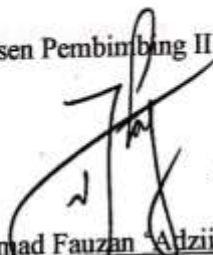
Surabaya, 27 Juli 2018
Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing I



Detak Yan Pratama, ST., M.Sc
NIP. 19840101 201212 1 002

Dosen Pembimbing II

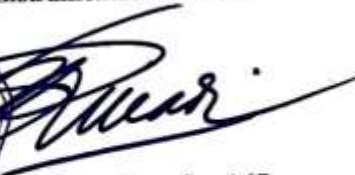


Ahmad Fauzan Adziimaa, ST.MT
NPP. 1991201711052

Kepala Departemen

Teknik Instrumentasi FV-ITS




Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, MSc
NIP. 19620822 198803 1 001

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN II

“RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN TEMPERATUR COOLING WATER CONDENSER PADA MINI DESALINATION WATER PLANT “

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memperoleh salah satu syarat
Untuk memperoleh gelar Ahli Madya
Pada
Program studi D3 Teknologi Instrumentasi
Departemen Teknik Instrumentasi
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

PUTU WAHYU DARMAWAN
NRP.10511500000021

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Detak Yan Pratama, ST. M.Sc. (Pembimbing I)
2. Ahmad Fauzan Adziimaa, ST. M.Sc. (Pembimbing II)
3. Dwi Oktavianto Wahyu N., ST. MT. (Dosen Penguji)

SURABAYA
2018

Halaman ini sengaja dikosongkan

RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN TEMPERATUR COOLING WATER CONDENSER PADA MINI DESALINATION WATER PLANT

Nama : Putu Wahyu Darmawan
NRP : 10511500000021
Program studi : D3 Teknologi Instrumentasi
Departemen : Teknik Instrumentasi
Dosen Pembimbing : Detak Yan Pratama, ST.,M.Sc.
Ahmad Fauzan Adziimaa, ST., M.Sc.

Abstrak

Pengendalian temperature pada cooling water diperlukan pada sistem desalinasi. Cooling water sendiri berfungsi sebagai pendingin agar peristiwa kondensasi dari uap dapat terjadi dengan cara melakukan pertukaran panas antara uap air dan air pada keadaan ambient secara konduksi. Jika desalinasi dilakukan secara terus menerus, maka diperlukan pengendalian temperature pada cooling water agar tidak terjadi pemanasan yang berlebihan. Hal ini dikarenakan naiknya temperature akan mempengaruhi peristiwa kondensasi yang mengakibatkan product yang dihasilkan bukan berupa air melainkan berupa uap. Pada sistem ini digunakan pengendalian close loop dengan menggunakan set point steady di 33 derajat Celsius. Pada sistem ini juga dapat diketahui grafik respon sistem yang menunjukkan bahwa waktu untuk mencapai maksiom overshoot adalah 14 menit sedangkan waktu untuk mencapai steady state pada menit ke 19 hingga menit ke 45 sejak sistem ini berjalan

Kata Kunci: Desalinasi, Condenser, Cooling Water, Servo, Valve

Halaman ini sengaja dikosongkan

DESIGN CONTROL SYSTEM TEMPERATURE CONTROL SYSTEM ON MINI DESALINATION WATER PLANT

Name : Putu Wahyu Darmawan
NRP : 10511500000021
Program of study : D3 Instrumentation Technology
Departement : Instrumentation Engineering
Advisor Lecturer : Detak Yan Pratama, ST.,M.Sc.
Ahmad Fauzan Adziimaa, ST., M.Sc.

Abstrack

Temperature control in cooling water is required in the desalination system. Cooling water itself serves as a coolant for condensation events from steam can occur by conducting a heat exchange between water vapor and water in a conductive ambient state. If desalination is done continuously, it is necessary temperature control on the cooling water to avoid overheating. This is because the rise in temperature will affect the event of condensation resulting in the resulting product not in the form of water but in the form of steam. In this system used close loop control by using steady set point at 33 degrees Celsius. In this system can also be known graph of the system response that shows that the time to reach the maksium overshoot is 14 minutes while the time to reach steady state on 19 minutes to 45 minutes since the system is running

Keywords: Desalination, Condenser, Cooling Water, Servo, Valve

Halaman ini sengaja dikosongkan

Kata Pengantar

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas berkat, rahmat dan kebesaran-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Rancang Bangun Sistem Pengendalian Temperatur Cooling Water Condenser Pada Mini Desalination Water Plant “ tepat pada waktunya. Selama menyelesaikan tugas akhir ini penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Orang tua tercinta yang telah memberikan segala dukungan baik moral maupun materil serta dukungan yang sangat luar biasa
2. Bapak Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc selaku Kepala Departemen Teknik Instrumentasi ITS yang telah memberikan semangat dan motivasi kepada kami
3. Dr.Ir. Syamsul Arifin, ST.MT. selaku dosen wali kami
4. Bapak Detak Yan Pratama, ST. M.Sc. dan Bapak Ahmad Fauzan Adziima, ST.M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, arahan dan saran yang membantu selama proses pengerjaan tugas akhir.
5. Bapak Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA, selaku Kepala Laboraturium Workshop Instrumentasi yang telah memberikan izin menggunakan lab workshop instrumentasi sebagai tempat pengerjaan tugas akhir kami.
6. Terimakasih kepada mbak dan mas yang telah mendukung, memberikan motivasi selama ini. Terimakasih kepada DESALINATION TEAM, Helmi, Ananta, Ifan, Yunita, Gusti dan Khammamah yang bersama-sama berjuang dalam pengerjaan tugas akhir ini

7. Teman-teman tercinta Workshop Intrumentasi 2015 yang selalu senantiasa memberikan semangat dan semua pihak yang telah membantu terselesaikannya Tugas Akhir ini,
8. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa kesempurnaan hanya milik Allah SWT. Oleh sebab itu, penulis sangat berterimakasih atas segala masukan, kritik dan saran yang membangun dari pembaca agar laporan ini menjadi lebih baik untuk di kemudian hari. Demikian laporan ini penulis buat, semoga laporan ini dapat memberikan manfaat selain bagi penulis sendiri, dan bagi pembaca sekalian.

Surabaya, 23 Juni 2018

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
LEMBAR PENGESAHAN I	v
LEMBAR PENGESAHAN II	vii
Abstrak.....	ix
Abstrack	xi
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	ix
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
BAB II.....	3
2.1 Desalinasi Flash Evaporation	3
2.1.1 Vaccum up.....	3
2.1.2 Evaporasi	4
2.1.3 Destilasi	4
2.1.4 Desalinasi dengan flash evaporator.....	4
2.2 Surface Codenser (energi, 2015)	5
2.1 Type Horizontal Condenser	5
2.2 Type Vertical condenser	6
2.3 Konsep dasar kalor ^[3]	6
2.4 Teori Heat Exchanger (alat penukar panas) ^[2]	6

2.5	Menghitung Kuantitas Air Yang Diperlukan Pada Condenser	7
2.6	Karakteristik Statik	8
2.6.1	Range (span)	8
2.6.2	Linieritas.....	8
2.6.3	Sensitivitas.....	9
2.6.4	Histerisis	9
2.7	Kalibrasi	9
2.7.1	Analisa Type A , (U_a).....	9
2.7.2	Analisa type B, U_B	10
2.7.3	Ketidakpastian Kombinasi , U_c	10
2.8	Kontrol proporsional.....	14
2.5	Spesifikasi Respon Transient Sistem orde 2	16
BAB III	19
3.1	Proses pembuatan alat	19
3.2	Langkah percobaan.....	20
3.2.1	Studi pustaka dan literature.....	20
3.2.2	Perancangan system.....	20
3.3	Kalibrasi Sensor Temperatur Cooling Water	25
BAB IV	29
4.1	Analisis Data	29
4.1.1	Volume cooling water condenser.....	29
4.1.2	Pengujian Sensor Thermocouple	29
4.1.3	Karakteristik Statis Sensor Termokopel Tipe K..	32
4.1.3	Data hasil percobaan alat	34
4.2	Pembahasan	39
BAB V	42

5.1	Kesimpulan.....	42
5.2	Saran.....	42
DAFTAR PUSTAKA		43
Lampiran 1		45

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Flowchart Pembuatan alat	20
Gambar 3. 2 Diagram Blok sistem	20
Gambar 3. 3 P&ID Sistem.....	22
Gambar 3. 4 Bagian Condenser.....	23
Gambar 3. 5 Dimensi Condenser	23
Gambar 3. 6 Tube sheet layout.....	23

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Saturation Temp & Pressure	3
Tabel 4. 1 Uji sensor	29
Tabel 4. 2 Hasil Data Kalibrasi.....	32
Tabel 4. 3 Karakteristik Statik Sensor	33

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada proses multi-stage flash desalination, air dengan konsentrasi garam yang tinggi akan dipanaskan melalui brine heater untuk kemudian dipisahkan antara fasa air dan uap, uap selanjutnya akan menuju ke system pendinginan dimana temperature dari uap air tersebut diturunkan sehingga diharapkan dapat terjadi peristiwa kondensasi dimana fasa uap akan sebagian mengembun. Proses pendinginan pada uap pada plant ini digunakan condenser. (Thulukkanam, 2013)

Condenser adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengubah exhaust gas menjadi air dengan peristiwa kondensasi, proses kodensasi pada condenser dilakukan dengan bantuan cooling water agar proses kondensasi cepat terjadi. Pada judul tugas akhir ini digunakan jenis surface condenser (Hall, 2005). Komponen yang digunakan dalam surface condenser adalah uap yang dihasilkan dari proses brine heater dan cooling water yang digunakan untuk menurunkan temperature pada uap. suhu cooling water yang digunakan pada tahap ini diharapkan steady di suhu 33 derajat Celcius. Dan diharapkan proses kodensasi dapat terjadi dengan maksimal pada proses ini. Jika temperature cooling water terlalu tinggi maka akan mempengaruhi peristiwa kondensasi yang mengakibatkan product yang dihasilkan bukan berupa air melainkan berupa uap

Maka dari itu untuk mencapai dari temperature cooling water yang diinginkan, diperlukan sebuah sistem pengendalian temperature cooling water, agar suhu dari cooling water tidak terlalu tinggi dan tidak terlalu rendah dari suhu yang diinginkan.

1.2 Rumusan Masalah

Pada permasalahan yang diangkat pada judul ini adalah bagaimana cara mengendalikan suhu condenser mini desalination water plant, agar tetap stabil di angka yang diinginkan agar peristiwa kondensasi dapat terjadi secara maksimal.

1.3 Tujuan

Tujuan yang dicapai dalam tugas akhir ini adalah merancang sistem pengendalian temperatur cooling water *condenser* pada mini desalination water plant

1.4 Batasan Masalah

Perlu diberikan beberapa batasan permasalahan agar pembahasan tidak meluas dan menyimpang dari tujuan. Adapun batasan permasalahan dari sistem yang dirancang ini adalah

1. Fokus tugas akhir ini membahas tentang sistem pengendalian temperatur temperatur *condenser* pada mini desalination water plant
2. Direncanakan *microcontroller ATmega 8535* sebagai kontroler pada temperatur *condenser*

BAB II

LANDASAR TEORI

2.1 Desalinasi Flash Evaporation

Desalination dalam bahasa Inggris atau desalinasi dalam bahasa Indonesia memiliki makna secara harafiah adalah proses pemisahan kandungan garam (de salt), dimana produk dari proses desalinasi adalah air tawar (fresh water) (Shu-XiaLi, 2015). Ada banyak metode yang digunakan pada proses desalinasi ini, diantaranya : destilasi, dan osmosis, kedua metode tersebut adalah metode yang paling banyak digunakan. Dalam postingan ini akan diterangkan proses desalinasi dengan metode destilasi. Secara umum dapat diterangkan beberapa tahap dari proses desalinasi, yaitu : (Ahsan, 2011)

2.1.1 Vaccum up

Vacuum pump Adalah proses penarikan udara keluar dari suatu ruangan (chamber), dalam proses desalinasi atau desalt plant, keadaan vaccum merupakan hal penting yang pertama dilakukan, dimana bagian yang mengalami proses vaccum up adalah : evaporator chamber dan brine heater chamber Adapun maksud di lakukan vaccum up adalah untuk mempercepat proses terbentuknya uap atau vapour, karena titik didih pada tekanan rendah (vaccum) adalah lebih rendah daripada titik didih pada ruang bertekanan. Misal :

Tabel 2. 1 Saturation Temp & Pressure

Saturation Temp (°C)	Saturation Press (MPa)
100	0.070182
95	0.084608
90	0.10142

Pada tekanan udara 1 atm atau 0.1 MPa titik didih air adalah 100 °C, sedang pada tekanan yang lebih rendah (vacuum) titik didih air adalah < 100 °C.

2.1.2 Evaporasi

Evaporasi adalah proses penguapan dalam hal ini adalah air laut. Sedangkan air laut adalah suatu campuran NaCl + H₂O + mineral lain. Pada proses ini dilakukan pemanasan dengan suatu heater pada titik didih H₂O. Beberapa komponen penyusun air laut diantaranya NaCl memiliki titik didih lebih tinggi dari H₂O, sehingga pada tahapan evaporasi (penguapan) yang terjadi hanyalah H₂O. (Patel, 1997)

2.1.3 Destilasi

Destilasi adalah proses pengembunan, dimana pada H₂O yang telah berubah bentuk menjadi uap (evaporasi) akan dilakukan proses pengembunan melalui suatu system cooler. Hasil dari proses destilasi adalah distillate, yaitu H₂O (fresh water). Dengan daya hantar (conductivity) kurang dari 25 uS/cm, serta kandungan Cl (Chlor) kurang dari 1000 ppb. (Ahsan, 2011)

2.1.3 Drainasi

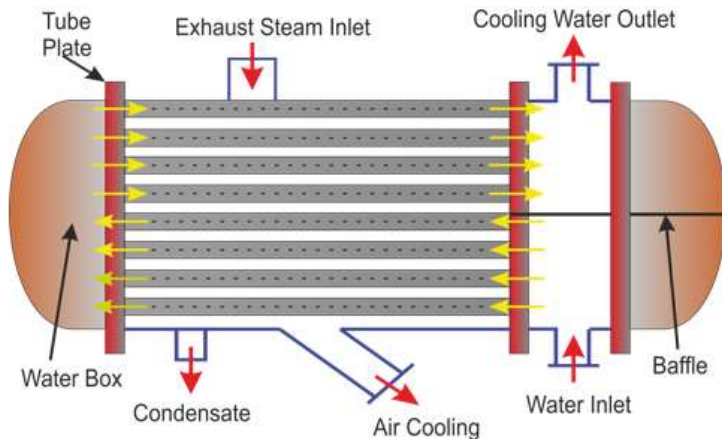
Yaitu proses pembuangan komponen air laut yang tidak terevaporasi ke system pembuangan (Brine blow down).

2.1.4 Desalinasi dengan flash evaporator

Flash evaporator adalah suatu alat yang digunakan untuk menguapkan suatu fluida cair dalam hal ini air laut, dengan tekanan rendah, sehingga pada tekanan rendah tersebut diharapkan terjadi penguapan lebih cepat. (Cengel, 2005)

2.2 Surface Condenser

Cara kerja dari jenis alat ini ialah proses pengubahan dilakukan dengan cara mengalirkan uap kedalam ruangan yang berisi susunan pipa dan uap tersebut akan memenuhi permukaan luar pipa sedangkan air yang berfungsi sebagai pendingin akan mengalir di dalam pipa (tube side), maka akan terjadi kontak antara keduanya dimana uap yang memiliki temperatur panas akan bersinggungan dengan air pendingin yang berfungsi untuk menyerap kalor dari uap tersebut, sehingga temperatur steam (uap) akan turun dan terkondensasi. Surface condenser terdiri dari dua jenis yang dibedakan oleh cara masuknya uap dan air pendingin, berikut jenis-jenisnya: (energi, 2015)



Gambar 2. 1 Surface Condenser (Thulukkanam, 2013)

2.1 Type Horizontal Condenser

Pada type kondensor ini, air pendingin masuk melalui bagian bawah, kemudian masuk kedalam pipa (tube) dan akan keluar pada bagian atas, sedangkan uap akan masuk pada bagian tengah kondensor dan akan keluar sebagai kondensat pada bagian bawah.

2.2 Type Vertical condenser

Pada jenis kondensor ini, tempat masuknya air pendingin melalui bagian bawah dan akan mengalir di dalam pipa selanjutnya akan keluar pada bagian atas kondensor, sedangkan steam akan masuk pada bagian atas dan air kondensat akan keluar pada bagian bawah.

2.3 Konsep dasar kalor^[3]

Specific heat merupakan banyaknya energy yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu pada sebuah cairan 1° C.

$$Q = m \times Cp \times (T2 - T1) \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

- Q = heat energy (Joules) (Btu);
- m = mass of the substance (kilograms) (pounds);
- Cp = specific heat of the substance (J/kg°C) (Btu/pound/°F);
- (T2 – T1) = is the change in temperature (°C) (°F).

2.4 Teori Heat Exchanger (alat penukar panas)^[2]

$$Q = U \times A \times \Delta Tm \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan ΔTm adalah:

$$\Delta Tm = \frac{(T1 - t2) - (T2 - t1)}{\ln \frac{(T1 - t2)}{(T2 - t1)}} \dots\dots\dots (2.3)$$

- T1 = Inlet tube side fluid temperature;
- t2 = Outlet shell side fluid temperature;
- T2 = Outlet tube side fluid temperature;
- t1 = Inlet shell side fluid temperature.
- A = Heat transfer area (m²) (ft²);
- Q = Heat transfer rate (kJ/h) (Btu\h);

U = Overall heat transfer coefficient (kJ/h.m².°C)
(Btu/h°F);

ΔT_m = Log mean temperature difference (°C) (°F).

2.5 Menghitung Kuantitas Air Yang Diperlukan Pada Condenser

Steam yang dihasilkan oleh heat exchanger yang telah dipisahkan dari air mempunyai dryness fraction yang berbeda. Dryness fraction sendiri adalah tingkat perbandingan antara kandungan uap dan air yang terdapat pada sebuah steam. Misal nilai dryness fraction pada sebuah steam adalah 0,7 ($x = 0,7$) maka kandungan uap pada steam adalah 70% sedangkan sisanya 30% adalah air yang bercampur dengan uap. (Sunaryo, 1999)

Berikut merupakan persamaan dari heat lost steam inlet kondesor = panas yang diterima oleh cooling water

$$M_s[xL + (t_s - t_c)K] = m_w(t_2 - t_1)K \dots\dots\dots (2.4)$$

Massa air yang dibutuhkan dalam kg/hour

$$m_w = \frac{m_s[xL + (t_s - t_c)K]}{K(t_2 - t_1)} \dots\dots\dots (2.5)$$

Menghitung dryness fraction steam

$$x = \frac{\frac{m_w}{m_s}(t_2 - t_1)K - (t_s - t_c)K}{L} \dots\dots\dots (2.6)$$

m_w = massa air yang dibutuhkan (Kg/hour)

m_s = massa steam yang masuk dalam condenser (kg/hour)

t_s = temperature jenuh steam yang masuk

t_c = temperature yang keluar dari kondenser

t_1 = temperature cooling water yang masuk

t_2 = temperature cooling water yang keluar

x = dryness factor steam yang masuk kondenser

L = enthalphy steam yang masuk
 K = specific heat of cooling water = 4.187 Kj/kg K.
 (Thulukkanam, 2013)

2.6 Karakteristik Statik

Karakteristik statik adalah sifat sebuah instrumen yang tidak bergantung pada waktu. Beberapa karakteristik statik instrumen yang sering digunakan adalah :

2.6.1 Range (span)

Range menyatakan jangkauan pengukuran sebuah insturmen. Sedangkan span adalah selisih nilai maksimum dan minimum yang dapat diukur oleh alat. Contoh: termometer memiliki range - 0,5 sampai + 40°C, subdivision 0,1°C, artinya kisaran pengukuran – 0,5 sampai 40,5°C, skala interval 0,1°C.

2.6.2 Linieritas

Pengukuran yang ideal adalah jika hubungan antara input pengukuran (nilai sesungguhnya) dengan output pengukuran (nilai yang ditunjukkan alat ukur) adalah berbanding lurus, dan dinyatakan dalam persamaan garis sebagai berikut:

$$O_{ideal} = KI + a \dots\dots\dots (2.7)$$

dengan K adalah kemiringan garis = $\frac{O_{max} - O_{min}}{I_{max} - I_{min}} \dots\dots\dots (2.8)$

a adalah pembuat nol (*zero bias*) = $O_{min} - KI_{min}$

Jika sebuah instrumen memiliki hubungan input-output tidak berupa garis lurus, penyimpangan dari garis lurus tersebut dikenal sebagai nonlinieritas. Seringkali nonlinieritas dinyatakan dalam nonlinieritas maksimum dalam bentuk prosentase skala penuh, yaitu:

$$\hat{N} = \frac{Q - Q_{\min}}{Q_{\max} - Q_{\min}} \dots\dots\dots (2.9)$$

2.6.3 Sensitivitas

menunjukkan seberapa jauh kepekaan sensor terhadap kuantitas yang diukur. Sensitivitas sering juga dinyatakan dengan bilangan yang menunjukkan “perubahan keluaran dibandingkan unit perubahan masukan” yaitu $\Delta O / \Delta I$.

2.6.4 Histeresis

Histeresis menunjukkan perbedaan nilai output pembacaan saat menggunakan nilai input naik (dari rendah ke tinggi), dengan nilai output pembacaan saat menggunakan nilai input turun (dari tinggi ke rendah). Histeresis biasanya dinyatakan dalam histeresis maksimum dalam bentuk prosentase skala penuh, yaitu:

$$\hat{H} = \frac{Q_{\uparrow} - Q_{\downarrow}}{Q_{\max} - Q_{\min}} \dots\dots\dots (2.10)$$

2.7 Kalibrasi

Adapun langkah-langkah kalibrasi adalah sebagai berikut

2.7.1 Analisa Type A , (U_a)

Pada tipe ini biasanya ditandai dengan adanya dat pengukuran, misalnya n kali pengukuran, maka selanjutnya dari data tersebut, akan ditemukan nilai rata-ratanya, standar deviasinya, dan atau repeatabilitynya. Bentuk kurva dari tipe ini adalah sebaran Gauss. Rumus umum ketidakpatian untuk tipe A ini adalah:

$$U_a = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots (2.11)$$

dimana σ = Standar Deviasi

2.7.2 Analisa type B, U_B

Jika Alat digital : Ketidakpastian (u)

$$u = (1/2 \text{ resolusi}) / \sqrt{3} \dots\dots\dots (2.12)$$

untuk Alat analog : Ketidakpastian (u)

$$u = \text{Readability} / 2 \dots\dots\dots (2.13)$$

2.7.3 Ketidakpastian Kombinasi, U_c

Selanjutnya dari semua sumber ketidakpastian tersebut diatas harus dikombinasikan / digabungkan untuk memberikan gambaran menyeluruh ketidakpastian dari hasil kalibrasi tersebut. Rumus umum ketidakpastian kombinasi adalah:

$$U_c = \sqrt{\sum (U_a)^2 + \sum (U_B)^2} \dots\dots\dots (2.14)$$

Atau secara umum :

$$U_c^2 = \sum (C_i \cdot U_i)^2 \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana c_i = koefisien sensitifitas dari ketidakpastian ke- i

2.5 Thermocouple Temperature Sensor

Thermocouple adalah dua logam yang didekatkan yang apabila terpapar oleh kalor dengan suhu tertentu akan menghasilkan beda potensial. Termokopel Suhu didefinisikan sebagai jumlah dari energi panas dari sebuah objek atau sistem. Perubahan suhu dapat memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap proses ataupun material pada tingkatan molekul (Wilson, 2005). Sensor suhu adalah device yang dapat melakukan deteksi pada perubahan suhu berdasarkan pada parameter-parameter fisik seperti hambatan, ataupun perubahan voltage (Wilson, 2005). Salah satu

jenis sensor suhu yang banyak digunakan sebagai sensor suhu pada suhu tinggi adalah termokopel.



Gambar 2. 2 MAX6675 K-type Thermocouple Temperature Sensor (elsevier, 2011)

Tipe K (Chromel (Ni-Cr alloy) / Alumel (Ni-Al alloy) Termokopel untuk tujuan umum. Lebih murah. Tersedia untuk rentang suhu $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga $+1200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Keluaran dari thermocouple berupa milivolt maka dari itu keluaran thermocouple harus dikuatkan dengan modul tambahan yang kemudian baru bisa dibaca oleh *microcontroller ATmega 8535*.

2.6 Servo Operated Valve

Servo Operating Valve atau motor servo adalah sebuah motor DC yang dilengkapi rangkaian kendali dengan sistem closed feedback yang terintegrasi dalam motor tersebut. Pada motor servo posisi putaran sumbu (axis) dari motor akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada di dalam motor servo.



Gambar 2. 3 Servo Operation Valve

Motor servo disusun dari sebuah motor DC, gearbox, variabel resistor (VR) atau potensiometer dan rangkaian kontrol. Potensiometer berfungsi untuk menentukan batas maksimum putaran sumbu (axis) motor servo. Sedangkan sudut dari sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang pada pin kontrol motor servo. Motor servo adalah motor yang mampu bekerja dua arah (CW dan CCW) dimana arah dan sudut pergerakan rotornya dapat dikendalikan dengan memberikan variasi lebar pulsa (duty cycle) sinyal PWM pada bagian pin kontrolnya. (microchip, 2010)

Motor Servo akan bekerja secara baik jika pada bagian pin kontrolnya diberikan sinyal PWM dengan frekuensi 50 Hz. Dimana pada saat sinyal dengan frekuensi 50 Hz tersebut dicapai pada kondisi Ton duty cycle 1.5 ms, maka rotor dari motor akan berhenti tepat di tengah-tengah (sudut 0°/ netral). Pada saat Ton duty cycle dari sinyal yang diberikan kurang dari 1.5 ms, maka rotor akan berputar ke berlawanan arah jarum jam (Counter Clock wise, CCW) dengan membentuk sudut yang besarnya linier terhadap besarnya Ton duty cycle, dan akan bertahan diposisi tersebut. Dan sebaliknya, jika Ton duty cycle dari sinyal yang diberikan lebih dari 1.5 ms, maka rotor akan berputar searah jarum jam (Clock Wise, CW) dengan membentuk sudut yang linier pula terhadap besarnya Ton duty cycle, dan bertahan diposisi tersebut.

Berat	: 13.4g
Ukuran	: 22.8 x 12.2 x 28.5mm
Stall torque	: 1.8 kg-cm (4.8V DC); 2.2 kg-cm (6V DC)
Speed	: 0.1 sec/60 (4.8V DC); 0.08 sec/60 (6V DC)
Tegangan	: 4.8-6V DC
Gear	: metal gear
Panjang kabel	: 15cm

2.7 ATmega 8535

Mikrokontroler adalah suatu alat elektronika digital yang mempunyai masukan dan keluaran serta kendali dengan program yang bisa ditulis dan dihapus dengan cara khusus, cara kerja mikrokontroler sebenarnya membaca dan menulis data. Mikrokontroler adalah sebuah komputer didalam chip yang digunakan untuk mengontrol peralatan elektronika. Mikrokontroler itu sejenis mikroprosesor yang menekankan efisiensi dan efektifitas biaya. Secara harfiahnya adalah "pengendali kecil" dimana sebuah sistem elektronika yang sebelumnya banyak memerlukan komponen-komponen pendukung seperti IC TTL dan CMOS dapat direduksi / diperkecil dan akhirnya terpusat serta dikendalikan oleh mikrokontroler ini. Mikrokontroler pertama kali dikenalkan oleh Texas Instrument dengan seri TMS 1000 pada tahun 1974 yang merupakan mikrokontroler 4 bit pertama. Mikrokontroler ini mulai dibuat sejak 1971. Merupakan mikrokomputer dalam sebuah chip, lengkap dengan RAM dan ROM. Kemudian, pada tahun 1976 Intel mengeluarkan mikrokontroler yang kelak menjadi populer dengan nama 8748 yang merupakan mikrokontroler 8 bit, yang merupakan mikrokontroler dari keluarga MCS 48. Sekarang di pasaran banyak sekali ditemui mikrokontroler mulai dari 8 bit sampai dengan 64 bit, sehingga perbedaan antara mikrokontroler dan mikroprosesor

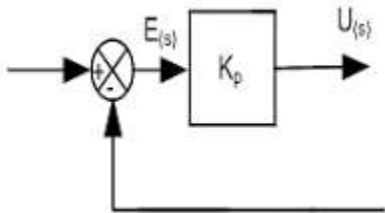
sangat tipis. Masing vendor mengeluarkan mikrokontroler dengan dilengkapi fasilitas yang cenderung memudahkan user untuk merancang sebuah sistem. (microchip, 2010)



Gambar 2.4 Ic Chip Atmega 8535 (microchip, 2010)

2.8 Kontrol proporsional

ada pengendali jenis P (proporsional) ini terdapat hubungan yang sebanding atau proporsional antara keluaran terhadap kesalahan, secara lebih sederhana dapat dikatakan bahwa keluaran pengendali proportional merupakan perkalian antara konstanta proportional dengan masukannya



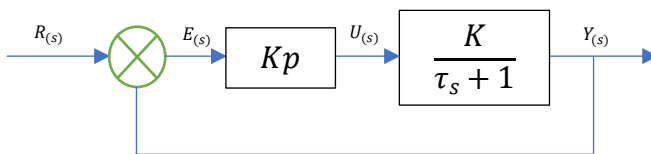
Gambar 2. 4 Kontroller proporsional

$U_{(s)} = Kp.E_{(s)}$ (2.16)

Sehingga $U_{(s)}$ akan proporsional terhadap $E_{(s)}$

Kontroller ini juga lebih dikenal sebagai gain / penguatan .Pertambahan harga Kp akan menaikkan penguatan sistem sehingga dapat digunakan untuk memperbesar kecepatan

tanggapan dan mengurangi *ess* atau *error steady state* (penyimpangan dalam keadaan mantap). Pemakaian alat kendali tipe proporsional ini sering tidak memuaskan karena penambahan K_p selain akan membuat sistem lebih sensitif tetapi juga cenderung mengakibatkan ketidakstabilan. Disamping itu penambahan harga K_p terbatas dan tidak cukup untuk mencapai tanggapan sampai suatu harga yang diinginkan. Kenyataannya dalam mengatur harga K_p terdapat keadaan-keadaan yang bertentangan. Di satu pihak diinginkan mengurangi *ess* sebanyak mungkin tetapi hal ini akan mengakibatkan osilasi bagi tanggapan yang berarti memperlama “*setting time*” sedangkan dipihak lain tanggapan terhadap setiap perubahan masukan harus terjadi secepat mungkin tetapi dengan lonjakan dan osilasi sekecil mungkin. Tanggapan yang cepat memang dapat diperoleh dengan memperbesar K_p tetapi hal ini juga akan mengakibatkan ketidakstabilan sistem. Pengendali *proportional* memiliki 2 parameter yaitu : *pita peoportional* (*band proportional*) dan konstanta *proportional*. Daerah kerja efektif *kontroller* dicerminkan oleh *pita proportional*, sedangkan konstanta *proportional* menunjukkan nilai faktor penguatan terhadap sinyal kesalahan, K_p .



Gambar 2. 5 Diagram Blok *kontroller proporsional*

Dengan:

$E(s)$ = *Error sistem*

$U(s)$ = *signal kontrol*

$R(s)$ = *input sistem*

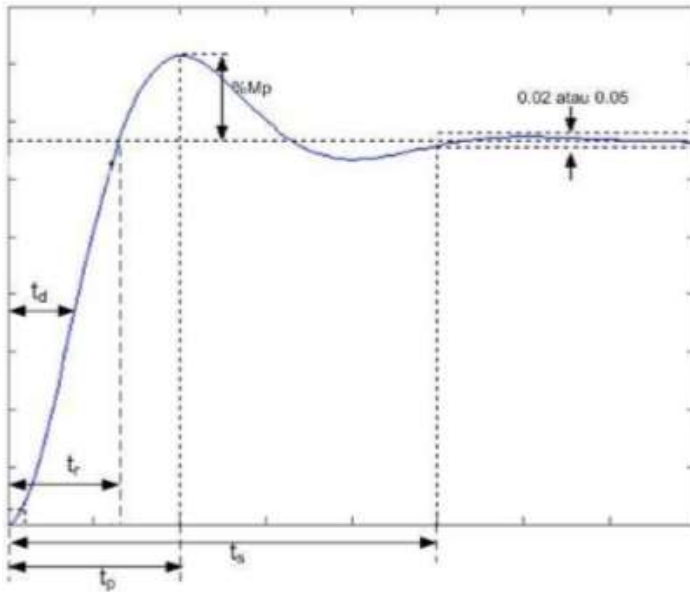
$K(p)$ = *kontroller proporsional*

K = gain open loop

$\tau_{(s)}$ = konstanta waktu

$Y_{(s)}$ = Output sistem

2.5 Spesifikasi Respon Transient Sistem orde 2



Gambar 2. 6 Respon Sistem orde 2 (elsevier, 2011)

Karakteristik Respon Transient Sistem Orde II Terdapat beberapa macam ukuran kualitas respon transient yang lazim digunakan, antara lain :

2.9.1 Rise Time (t_r)

Waktu naik adalah ukuran waktu yang di ukur mulai dari respon $t=0$ sampai dengan respon memotong sumbu steady state yang pertama.

2.9.2 Settling Time (t_s)

Waktu tunak adalah ukuran waktu yang menyatakan respon telah masuk $\pm 5\%$, atau $\pm 2\%$, atau $\pm 0.5\%$ dari keadaan steady state

2.9.3 Delay Time (t_d)

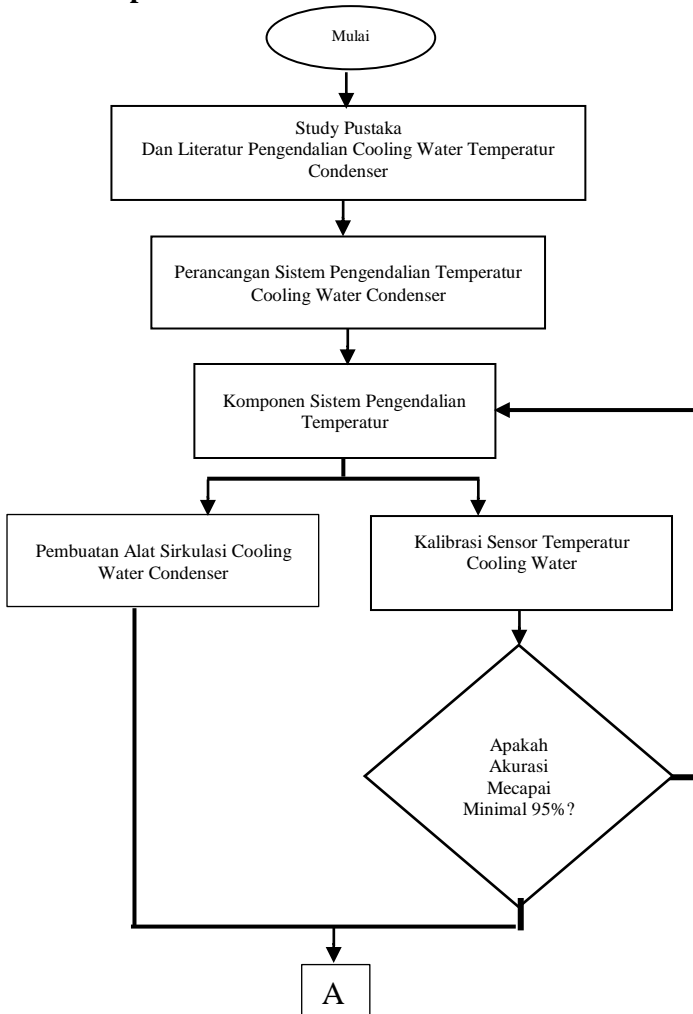
Ukuran waktu yang menyatakan faktor keterlambatan respon output terhadap input, di ukur mulai $t = 0$ s/d respon mencapai 50% dari respon steady state

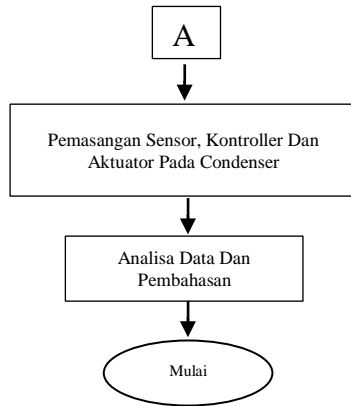
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI PERCOBAAN

Adapun metodologi penelitian pada judul tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

3.1 Proses pembuatan alat





Gambar 3. 1 Flowchart Pembuatan alat

3.2 Langkah percobaan

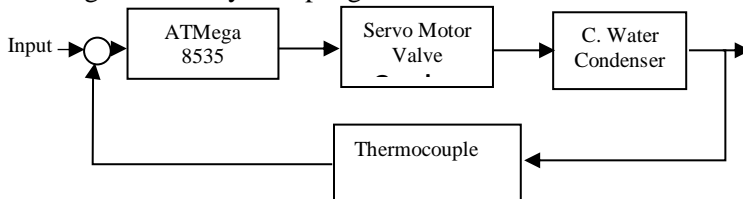
Adapun langkah percobaan adalah sebagai berikut:

3.2.1 Studi pustaka dan literature

Dilakukan studi pustaka mengenai bagaimana prinsip dasar dalam peristiwa kondensasi menggunakan surface condenser serta dilakukan studi bagaimana system pengendalian yang tepat untuk diterapkan pada plant yang akan dibuat.

3.2.2 Perancangan system

- Diagram Blok system pengendalian



Gambar 3. 2 Diagram Blok Sistem

Pada system pengendalian ini dilakukan penentuan set poin pada suhu 33 derajat Celsius dengan suhu awal cooling water yaitu 28 derajat Celsius atau pada suhu air pada temperature ruangan. Digunakan controller atmega 8535 dengan sensor thermocouple type K dan actuator servo motor valve

- **Komponen Sistem Pengendalian Temperatur**

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- **Pompa air**

Merk	Moswell
Tegangan/Frekuensi	220VAC/50-60Hz
Maksimal Flowrate	30 Liter/Menit
Tipe pompa	Sentrifugal
Suhu Cairan Max.	45° C

- **Thermocouple type-K**

Bahan	Chromel (+) Alumel (-)
Range pembacaan	0° - 1260° C

- **Ball Valve Servo Operated**

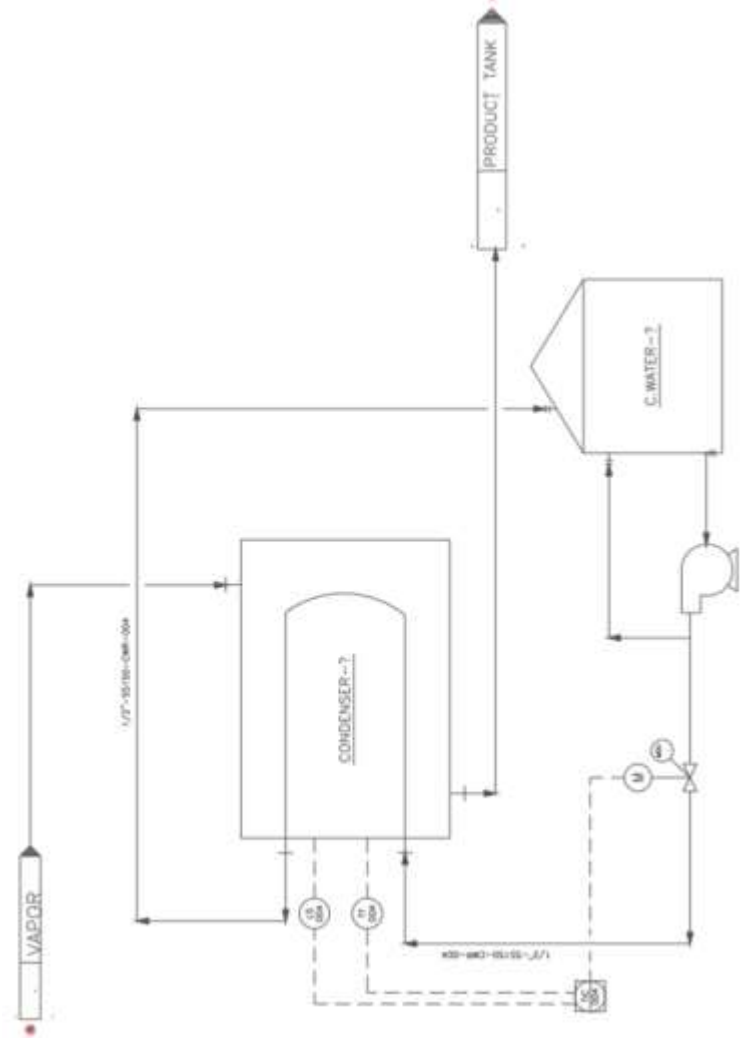
Valve Stroke	0-100% (0-90°)
Tegangan	5-6 VDC

- **PVC**

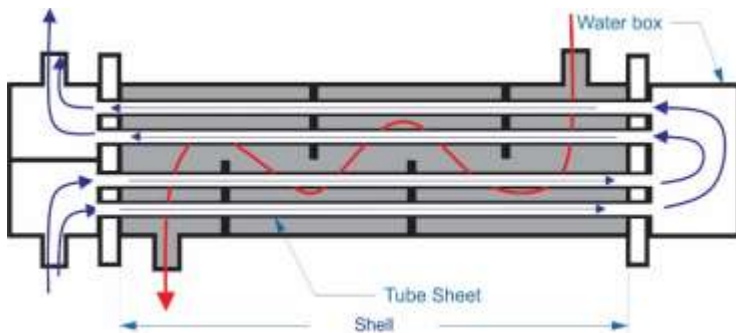
Panjang	2 Meter
Suhu Cairan Max	60° Celsius

- Three Way PVC
- Elbow 90° 2 Buah
- Surface Condenser
- ATmega 8535
- Kabel tunggal

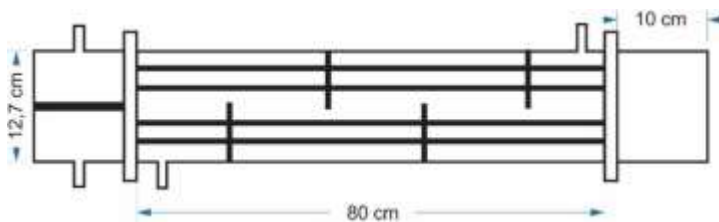
3.2.3 Pembuatan Alat Sirkulasi Cooling Water Condenser



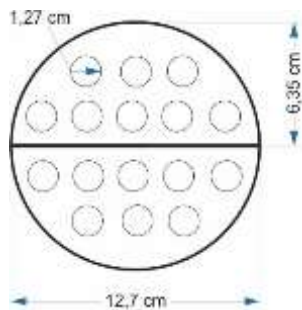
Gambar 3. 3 P&ID Sistem



Gambar 3. 4 Bagian Condenser



Gambar 3. 5 Dimensi Condenser



Gambar 3. 6 Tube sheet layout

Diketahui bahwa Set point dari cooling water condenser adalah 35°C maka diperlukan storage cooling water sebesar 19L sesuai dengan perhitungan dibawah ini

➤ Volume Water box

$$V_{Water\ Box} = (\pi \cdot r_{water\ box}^2 \cdot t_{water\ box}) \cdot 2 \dots\dots\dots (3.1)$$

• Volume total Tube Sheet

$$V_{Total\ Tubesheet} = (\pi \cdot r_{tube}^2 \cdot t_{tube}) \cdot 16 \dots\dots\dots (3.2)$$

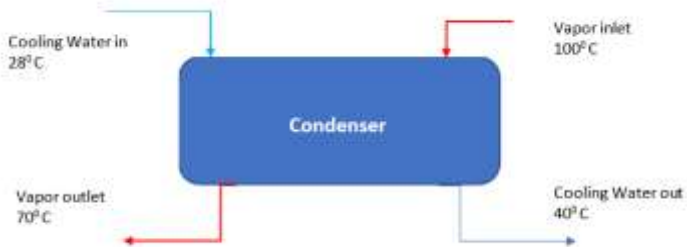
• Total Cooling Water

$$V_{total\ cooling\ water} = V_{water\ box} + V_{tube\ sheet} \dots\dots\dots (3.3)$$

• Volume shell

$$V_{Shell} = (\pi \cdot r_{shell}^2 \cdot t_{shell}) - V_{Total\ tubesheet} \dots\dots\dots (3.4)$$

• Menghitung



Gambar 3. 7 Sirkulasi pada Condenser

$$\Delta Tm = \frac{(T1-t2)-(T2-t1)}{\ln \frac{(T1-t2)}{(T2-t2)}} \dots\dots\dots (3.5)$$

Dengan

- T1 = Inlet vapor temperature
- t2 = Cooling Water OUT Teperature
- T2 = Vapor OUT Temperature
- t1 = inlet Cooling Water

$$Q = m \cdot Cp \cdot (T2 - T1) \dots\dots\dots (3.6)$$

Massa cooling Water yang dibutuhkan

$$m = \frac{Q}{Cp \cdot \Delta Tm} \dots\dots\dots (3.7)$$

3.3 Kalibrasi Sensor Temperatur Cooling Water

Kalibrasi sensor thermocouple dilakukan dengan cara memanaskan air dengan heater hingga suhu 95 derajat Celsius kemudian diambil data kenaikan suhu setiap 5 derajat Celsius. Pengujian ini juga dilakukan pembacaan turun guna menentukan karakteristik static dari sensor yang digunakan. Alat pembanding yang digunakan yaitu sensor thermokopel dengan controller merk Fuji PXR-9 dengan resolusi 0.1 derajat celsius

- Koreksi

$$Koreksi = \text{pembacaan alat} - \text{pembacaan std} \dots (3.8)$$

- Rata rata koreksi

$$\text{rata Koreksi} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Koreksi}}{n} \dots (3.9)$$

- Ketidakpasitian Tipe A (U_{a1})

Untuk mencari nilai ketidakpastian tipe A (U_{a1}) pertama mencari standar deviasi (σ) dari pembacaan alat ukur yakni jumlah dari nilai koreksi dibagi dengan ($n-1$), dimana n adalah jumlah data atau titik pengujian

$$U_{a1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \dots (3.10)$$

- Standart Deviasi

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2}}{n-1} \dots (3.11)$$

- Nilai Ketidakpastian Regresi (U_{a2})

$$U_{a2} = \sqrt{\frac{SSR}{n-2}} \dots (3.12)$$

- Nilai SSR

$$SSR = a + (b \times t_i) \dots (3.13)$$

$$a = \bar{y}_i - (b \times \bar{t}_i) \dots (3.14)$$

$$b = \frac{n \cdot \sum t_i y_i - \sum y_i \cdot \sum t_i}{n \cdot \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2} \dots (3.15)$$

- ketidakpastian alat standar termometer (U_{B2})

$$U_{B1} = \frac{\frac{1}{2} \times \text{Resolusi}}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (3.16)$$

- U_{B2}

Pada ketidakpastian tipe B ini terdapat 2 parameter ketidakpastian, yaitu ketidakpastian Resolusi (U_{B1}) dan ketidakpastian alat standar termometer (U_{B2}).

$$U_{B2} = \frac{a}{k} \dots\dots\dots (3.17)$$

- Nilai ketidakpastian kombinasi U_c

$$U_c = \sqrt{U_{A1}^2 + U_{A2}^2 + U_{B1}^2 + U_{B2}^2} \dots\dots\dots (3.18)$$

- Nilai V_{eff}

$$V_{eff} = \frac{(U_c)^4}{\sum (U_i)^4 / V_i} \dots\dots\dots (3.19)$$

- Ketidakpastian Berulang

$$U_{exp} = k \times U_c \dots\dots\dots (3.20)$$

3.4 Mengetahui Karakteristik Statik alat ukur

- Sensitivitas (dari data pengujian alat)

$$= \frac{\Delta O}{\Delta I} \dots\dots\dots (3.21)$$

- Akurasi :

$$A = 1 - \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| \times 100\% \dots\dots\dots (3.22)$$

dengan Y_n = Pembacaan standar dan X_n = Pembacaan alat

- Error :

$$e = 1 - A \dots\dots\dots (3.23)$$

- Histerisis

$$H(I) = O(I)_{I\downarrow} - O(I)_{I\uparrow}, \widehat{H} = H(I)_{max} \dots\dots\dots (3.24)$$

- Linieritas

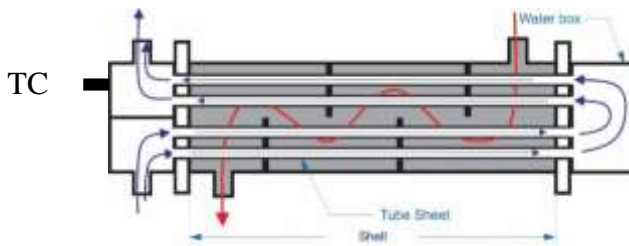
$$K = \frac{O_{max} - O_{min}}{I_{max} - I_{min}} \dots\dots\dots (3.25)$$

- Nilai O ideal9
 $O_{ideal} = KI + a$ (3.26)
 Dengan nilai a adalah
 $a = O_{min} - KI_{min}$
- Non Linieritas

$$N = \frac{[O - KI + a]_{max}}{O_{max} - O_{min}} 100\% \quad (3.27)$$

3.5 Pemasangan Sensor, Kontroller dan Aktuator

Pemasangan sensor pada condenser diletakkan di water box mendekati outlet dari cooling water condenser



Gambar 3. 8 Penempatan sensor

Sedangkan Aktuator dirancang menggunakan Servo yang dapat bergerak 0-180 derajat. Dengan valve body jenis ball valve yang dapat membuka pada sudut 0 derajat dan menutup penuh pada sudut 90 derajat. Berikut adalah skematik dari pemasangan sensor, controller dan actuator.

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data

Dari percobaan yang telah dilakukan didapatkan beberapa data yang diperoleh yaitu:

4.1.1 Volume cooling water condenser

Berdasarkan persamaan 3.3 Dapat diketahui volume cooling water total yang terdapat pada condenser adalah

$$v_{total} = 4,151 \text{ L}$$

Volume shell total condenser

$$v_{shell \text{ total}} = 8,509 \text{ L}$$

Volume cooling water yang dibutuhkan untuk menurunkan suhu uap dari 100 derajat ke 70 derajat adalah

$m = 2,94 \text{ l/menit}$ (Massa air yang dibutuhkan untuk menurunkan dari suhu 100 ke 70 derajat celcius)

4.1.2 Pengujian Sensor Thermocouple

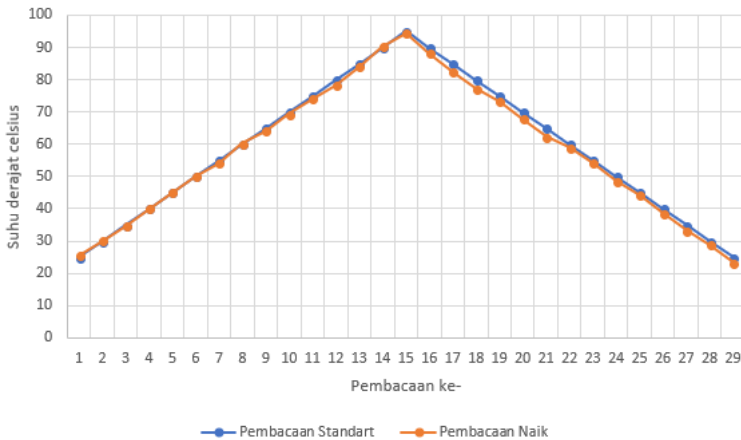
Tabel 4. 1 Uji sensor

No.	Pembacaan Standart	Pembacaan Sensor	Error (%)
1	25	25.5	2
2	30	30.1	0.33
3	35	34.7	-0.85
4	40	40.1	0.25
5	45	45.16	0.35
6	50	50.1	0.2
7	55	54.17	-1.50
8	60	60.2	0.33
9	65	64.18	-1.26

Tabel 4.1 Uji sensor (Lanjutan)

No.	Pembacaan Standart	Pembacaan Sensor	Error (%)
10	70	69.32	-0.97
11	75	74.18	-1.09
12	80	78.24	-2.2
13	85	84.18	-0.96
14	90	90.23	0.25
15	95	94.38	-0.65
16	90	88.24	-1.95
17	85	82.45	-3
18	80	77.29	-3.45
19	75	73.21	-2.38
20	70	67.9	-3
21	65	62.32	-4.12
22	60	58.9	-1.83
23	55	54.15	-1.54
24	50	48.59	-2.82
25	45	44.19	-1.8
26	40	38.56	-3.6
27	35	33.25	-5
28	30	28.9	-3.66
29	25	23.2	-7.2

Tabel diatas merupakan pengujian sensor termokopel baut tipe K dibandingkan dengan kalibrator.



Gambar 4.4 Grafik Uji Sensor

Pada grafik Uji sensor dapat dilihat perbandingan antara sensor termokopel tipe k dengan thermocouple air raksa, dari grafik tersebut pembacaan alat ukur mendekati nilai standar yang ditunjukkan pada pembacaan standart. Kemudian data yang diperoleh dihitung Pengujian alat ukur ini bertujuan untuk mengetahui besar ketidakpastian alat ukur yang dibuat, sehingga dengan mengetahui hal tersebut bisa pula diketahui nilai ketidakpastian pengukuran (UA_1). Akan tetapi, sebelum menghitung nilai ketidakpastian dari alat ukur tersebut, maka perlu diketahui terlebih dahulu standard deviasi (δ) dari pengukuran tersebut. Adapun untuk menghitung standard deviasi (δ). Sesuai persamaan 3.8 - 3.20 didapatkan hasil data kalibrasi adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 2 Hasil Data Kalibrasi

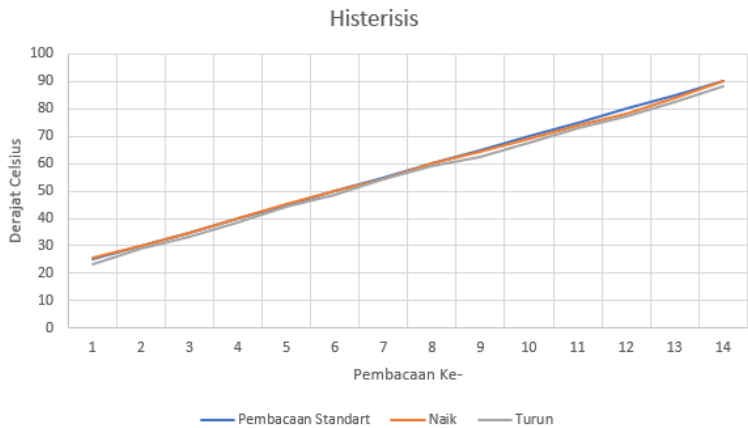
No	Tipe	Hasil
1	U_{a1}	0.16
2	U_{a2}	0.027
3	U_{b1}	0,003
4	U_{b2}	0
5	U_c	0.17
6	V_{eff}	4.07
7	U_{exp}	20.71%

Nilai $V_{eff} = 4.07052302$, sehingga jika dibulatkan menjadi 16, dimana pada table *T-student* menghasilkan nilai k (faktor koreksi) sebesar 2.77. Oleh karena itu, hasil nilai ketidakpastian berulang dapat diketahui menggunakan persamaan 3.20 sebesar :

Sehingga berdasarkan perhitungan ketidakpastian diperluas diatas, menghasilkan nilai ketidakpastian alat sebesar ± 0.207 dengan tingkat kepercayaan 95% dari tabel *T-Student*. Nilai ketidakpastian tersebut akan menjadi acuan untuk pembacaan alat ukur selama alat ukur tersebut digunakan

4.1.3 Karakteristik Statis Sensor Termokopel Tipe K

Karakteristik statik adalah karakteristik yang harus diperhatikan apabila alat tersebut digunakan untuk mengukur suatu kondisi yang tidak berubah karena waktu atau hanya berubah secara lambat laun. Untuk itu perlu dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai karakteristik dari sensor termokopel stik. Sesuai dengan persamaan 3.21 – 3.27 didapatkan hasil sesuai dengan table 4.3. dari nilai yang telah didapatkan dapat disimpulkan bahwa alat ukur yang digunakan pada sistem ini adalah valid.



Gambar 4.5 Histerisis

Tabel 4. 3 Karakteristik Statik Sensor

No.	Karakteristik Statik	Nilai
1	Range	23.2 – 94.38°C
2	Span	71.18
3	Resolusi	0,01
4	Sensitivitas	0.9939°C
5	% Maks. Histerisis	0,0156 %
6	Akurasi	97.79 %
7	Linieritas	13.424
8	Non Linieritas	0.99133
9	Error	0,221%

4.1.3 Data hasil percobaan alat

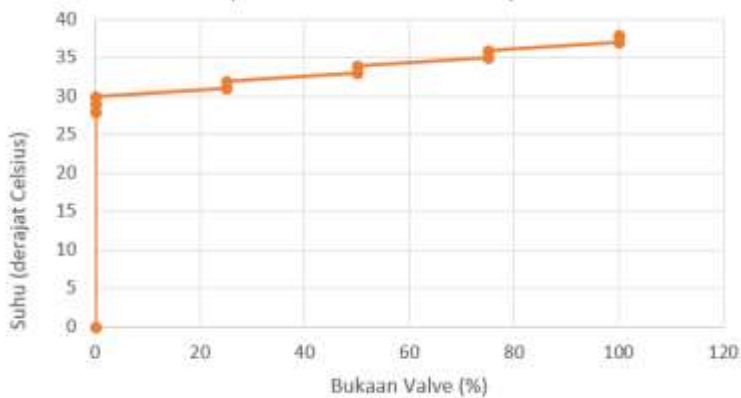
Dari hasil percobaan alat yang telah dilakukan, didapatkan beberapa hasil data sebagai berikut

- Data Respon Aktuator terhadap pembacaan sensor
Dari pengambilan data, diperoleh hasil dari respon actuator terhadap pembacaan sensor adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Respon Aktuator

No.	Respon Aktuator (%)	Pembacaan Sensor (⁰ C)
1	0	0
1	0	28
2	0	29
3	0	30
4	25	31
5	25	32
6	50	33
7	50	34
8	75	35
9	75	36
10	100	37
11	100	38

Berdasarkan data yang didapatkan yaitu respon actuator terhadap sensor, dapat dibuat grafik hubungan antara sensor dan actuator sebagai berikut:



Gambar 4. 1 Grafik Respon Aktuator

Pada data respon actuator dapat diketahui bahwa kerja actuator pada sistem ini akan menutup secara penuh (Full Close) pada rentang suhu cooling water dibawah 30 derajat Celsius. Ketika suhu cooling water berada diantara suhu 31-32 derajat Celsius maka valve akan membuka sebanyak 25%, ketika suhu cooling water mencapai suhu antara 33-34 maka valve akan membuka 50%. Ketika suhu cooling water mancapai suhu 35-36 maka valve akan membuka 75%. Ketika suhu cooling water lebih atau sama dengan 37 derajat Celsius maka valve akan membuka penuh 100%

- Data Respon sistem terhadap waktu

Berdasarkan data yang diperoleh, berikut adalah data respon sistem mulai dari start up plant hingga nilai set point tercapai yaitu pada titik 33 derajat Celsius

Pada penerapan controller proporsional dapat diketahui melalui persamaan 3.31 yaitu steady state akan tetap ber-osilasi pada range 2% atau 5%,

Jika $t_{s(cl)} = 2\%$ maka

$$K_p = \frac{1}{k} \left(\frac{4\tau}{t_{s(cl)}} - 1 \right)$$

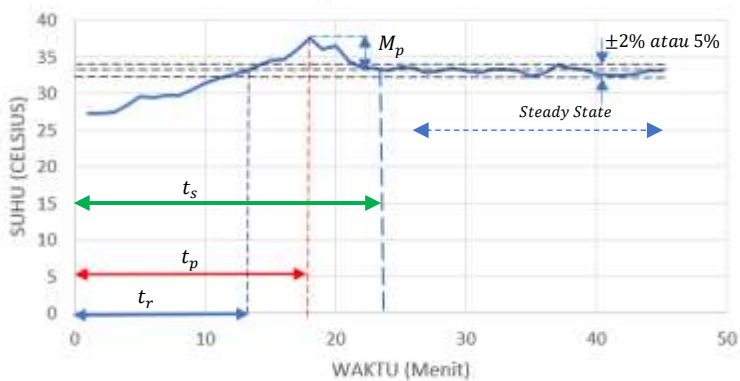
Tabel 4. 5 Respon sistem

N0.	MENIT KE-	PEMBACAAN SENSOR (°C)
1	1	27.34
2	2	27.35
3	3	27.46
4	4	28.35
5	5	29.54
6	6	29.43
7	7	29.76
8	8	29.79
9	9	30.47
10	10	31.45
11	11	31.97
12	12	32.56
13	13	33
14	14	33.69
15	15	34.54
16	16	34.59
17	17	35.87
18	18	37.65
19	19	36.01
20	20	36.52
21	21	34.34
22	22	33.59
23	23	33.45
24	24	33.13
25	25	33.54
26	26	33.43

Tabel 4. 5 Respon sistem (Lanjutan)

27	27	32.78
28	28	33.12
29	29	33.42
30	30	33.13
31	31	32.76
32	32	33.31
33	33	33.23
34	34	33.14
35	35	32.42
36	36	32.76
37	37	33.87
38	38	33.5
39	39	33.23
40	40	32.61
41	41	32.54
42	42	32.53
43	43	32.71
44	44	33.12
45	45	33.13

Dari data diatas didapatkan grafik respon sistem terhadap waktu sebagai berikut:



Gambar 4. 2 Grafik respon sistem

Dengan:

$t_r = \text{rise time}$

Waktu naik adalah ukuran waktu yang di ukur mulai dari respon $t=0$ sampai dengan respon memotong sumbu *steady state* yang pertama yaitu dalam waktu 12 menit

$t_p = \text{Peak time}$

Waktu puncak adalah waktu yang diperlukan respon mulai dari $t=0$ hingga mencapai puncak pertama *overshoot* pada sistem ini diperlukan waktu 19 menit

$t_s = \text{settling time}$

Waktu tunak adalah ukuran waktu yang menyatakan respon telah masuk $\pm 5\%$, atau $\pm 2\%$, atau $\pm 0.5\%$ dari keadaan *steady state*, pada sistem ini diperlukan waktu 23 menit

$M_p = \text{Overshoot maksimum}$

Nilai relatif yang menyatakan perbandingan antara nilai maksimum respon (*overshoot*) yang melampaui nilai *steady state* dibanding dengan nilai *steady state*. Nilai overshoot maksimum pada sistem ini adalah 37 derajat celsius

4.2 Pembahasan

sistem pengendalian temperature condenser pada mini desalination water plant ini dirancang menggunakan sensor termokopel stick type K. selain range pembacaan yang tinggi, jenis termokopel ini mudah didapatkan disbanding type yang lain. Termokopel yang digunakan pada tugas akhir ini juga telah diuji dan telah memenuhi kriteria standard yang dapat dilihat pada data diatas. Pemasangan termokopel pada condenser dilakukan mendekati outlet dari cooling water. Hal ini bertujuan untuk mengetahui perubahan suhu air setelah melewati tubesheet condenser.



Gambar 4. 3 Pemasangan Sensor

Gambar diatas merupakan hasil dari pemasangan thermokopel yang diletakkan di water box. Dari data percobaan yang telah dilakukan dapat diketahui kenaikan suhu dari cooling water ketika uap sudah mulai dihasilkan. oleh heat exchanger



Gambar 4. 4 Pemasangan keseluruhan

Sesuai dengan data yang telah diperoleh dari pengambilan data diatas dapat diketahui bahwa respon sistem pengendalian temperature cooling water pada plant ini didapatkan waktu untuk mencapai rise time adalah sekitar 14 menit, dibandingkan pada jurnal yang ada (Dulău, Karoly, & Dulău, 2017), rise time pada sistem ini cenderung lebih lambat dikarenakan uap pemanas yang masuk melalui shell condenser memiliki flowrate yang lambat, hal ini menyebabkan waktu untuk naiknya temperature dari suhu cooling water awal yaitu 28 derajat Celsius mencapai waktu 14 menit. Waktu untuk mencapai overshoot maksimum adalah sekitar 19 menit atau 5 menit setelah rise time tercapai. Sedangkan waktu yang diperlukan untuk mencapai steady state pada titik pertama (settling time) adalah pada menit ke 23 atau 4 menit dari maksimum overshoot, waktu 4 menit ini adalah waktu yang diperlukan untuk cooling water yang baru untuk masuk ke pipa pipa didalam condenser yang akan menggantikan cooling water yang telah mencapai suhu maksimum overshoot tadi. steady state sendiri tercapai pada menit ke 23 hingga menit ke 45 sejak sistem ini dinyalakan. Lama nya waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi steady state ini dikarenakan elemen pemanas yang kurang sehingga menyebabkan naiknya temperature dari 28 derajat

Celsius menuju maksimum overshoot memerlukan waktu yang lama

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diperoleh dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut

1. Telah dilakukan pengendalian suhu pada air pendingin dengan menggunakan sistema pengendalian close loop yang dapat menjaga suhu air pendingin pada nilai 33⁰ C
2. Dari data yang didapatkan dapat disimpulkan bahwa waktu untuk sistem mencapai steady state adalah 30 menit.

5.2 Saran

Dari kekurangan mulai dari proses pembuatan alat hingga proses pembuatan laporan, dapat diambil beberapa saran sebagai berikut:

1. Timeline pengerjaan lebih diperhatikan agar pengerjaan alat dapat sesuai target
2. Pembuatan desain lebih diperhatikan guna memperlancar untuk pembuatan sistem pengendalian yang baik
3. Grounding pada masing masing sensor sebaiknya dipasang agar tidak membuat pembacaan sensor menjadi terganggu

DAFTAR PUSTAKA

- Ahsan, D. A. (2011). *Evaporation, Condensation and Heat transfer*. Chicago: InTech.
- Cengel, Y. A. (2005). *Thermodynamics an engineering approach*. Chicago: Karanta.
- Dulău, M., Karoly, M., & Dulău, T.-M. (2017). Fluid temperature control using heat exchanger . *11th International Conference Interdisciplinarity in Engineering*.
- elektronika, t. (2018, Januari 12). *Pengertian Termokopel (Thermocouple) dan Prinsip Kerjanya*. Retrieved from Teknik elektronika:
<https://teknikelektronika.com/pengertian-termokopel-thermocouple-dan-prinsip-kerjanya/>
- elsevier. (2011, oktober 30). *web*. Retrieved april 4, 2018, from <http://sciencedirect.com>
- energi, s. i. (2015, januari 20). *Kondensor dan Prinsip Kerjanya*. Retrieved februari 22, 2018, from <http://www.prosesindustri.com/2015/01/kondensor-dan-prinsip-kerjanya.html>
- Hall, A. (2005). Process Heating. In A. Hall, *Selecting a Process Cooling System* (p. 33). Shanghai: Advanced Technologies & Aerospace Database .
- Jurandir Primo, P. (2012). *Shell and Tube Heat Exchangers Basic Calculations* . Meadow Estates Drive:
www.pdhonline.org.
- LuqmanBuchori, S. M. (2015). *PERPINDAHAN PANAS (HEAT TRANSFER)*. Semarang: UNDIP Semarang.

- microchip. (2010, july 13). *ATmega8535*. Retrieved from
microchip:
<http://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATmega8535>
- Ogata, K. (2010). *Modern Control Engineering*. Tokyo: Pearson.
- Patel, L. P. (1997). *ELEMENTS OF HEAT ENGINES* . Opp. Gandhi
Nagar Gruh: ACHARYA PUBLICATIONS .
- Shu-XiaLi. (2015). Dynamic Modeling of Steam Condenser and
Design of PI Controller Based on Grey Wolf Optimizer.
Mathematical Problems in Engineering , 2015, 2.
- Sunaryo, G. R. (1999). PERANCANGAN SISTIM PEMURNIAN AIR
LAUT MENJADI AIR TAWAR BERDASARKAN METODA
DESALINASI MULTISTAGE FLASH DISTILLATION (MSF).
*Prosiding Presentasi Ilmiah Teknologi Keselamatan
NukliNV*, 1, 2.
- Thulukkanam, K. (2013). *Heat Exchanger Design Handbook*. New
York: CRC Press .

Lampiran 1

Program Codevision AVR

```
#include <mega8535.h>
unsigned result;
#include <delay.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>

// Alphanumeric LCD functions
#include <alcd.h>

// Declare your global variables here

// Voltage Reference: AREF pin
#define ADC_VREF_TYPE ((0<<REFS1) | (0<<REFS0) |
(0<<ADLAR))

// Read the AD conversion result
unsigned int read_adc(unsigned char adc_input)
{
    ADMUX=adc_input | ADC_VREF_TYPE;
    // Delay needed for the stabilization of the ADC input
    voltage
    delay_us(10);
    // Start the AD conversion
    ADCSRA|=(1<<ADSC);
    // Wait for the AD conversion to complete
    while ((ADCSRA & (1<<ADIF))==0);
    ADCSRA|=(1<<ADIF);
    return ADCW;
}

// SPI functions
#include <spi.h>
```

```

char lcd_buffer2[33];
int servo2;
void baca_cwt()
{
    PORTB.4=0;

    result=(unsigned) spi(0)<<8;

    /* read the LSB using SPI and combine with MSB */

    result|=spi(0);

    PORTB.4=1;
    result=(unsigned) (((unsigned long)
result*5000)/4096L);
    //hasil=(result/40)-4;
    sprintf(lcd_buffer2,"T.CWT=%4u.%u
%cC",result/40,(result%40),0xDF);
    lcd_gotoxy(0,2);
    lcd_puts(lcd_buffer2);
    lcd_gotoxy(0,3);
    lcd_putsf("Valve");
    //delay_ms(20);
}
void kondisi_cwt(){
if(result/40 <= 30){
for(servo2=0;servo2<=200;servo2++)
{
    PORTD.0=1;
    delay_us(100);
    PORTD.0=0;
    delay_us(100);
}
}
}

```

```

        lcd_gotoxy(5,3);
        lcd_putsf("0 %");
        delay_ms(100);
    }
    if(result/40 >= 31 && result/40 <= 32){
    for(servo2=0;servo2<=200;servo2++)
        {
            PORTD.0=1;
            delay_us(85);
            PORTD.0=0;
            delay_us(100);
        }
        lcd_gotoxy(5,3);
        lcd_putsf("25 %");
        delay_ms(100);
    }
    if(result/40 >= 33 && result/40 <= 34){
    for(servo2=0;servo2<=200;servo2++)
        {
            PORTD.0=1;
            delay_us(60);
            PORTD.0=0;
            delay_us(100);
        }
        lcd_gotoxy(5,3);
        lcd_putsf("50 %");
        delay_ms(100);
    }
    if(result/40 >= 35 && result/40 <= 36){
    for(servo2=0;servo2<=200;servo2++)
        {
            PORTD.0=1;
            delay_us(40);

```

```

        PORTD.0=0;
        delay_us(100);
    }
    lcd_gotoxy(5,3);
    lcd_putsf("75 %");
    delay_ms(100);
}
else if(result/40 > 37){
    for(servo2=0;servo2<=200;servo2++){
        PORTD.0=1;
        delay_us(10);
        PORTD.0=0;
        delay_us(100);
    }
    lcd_gotoxy(5,3);
    lcd_putsf("100 %");
    delay_ms(100);
}
}
}
void main(void)
{

```

// Declare your local variables here

// Input/Output Ports initialization

// Port A initialization

// Function: Bit7=In Bit6=In Bit5=In Bit4=In Bit3=In

Bit2=In Bit1=In Bit0=In

```

DDRA=(0<<DDA7) | (0<<DDA6) | (0<<DDA5) |
(0<<DDA4) | (0<<DDA3) | (0<<DDA2) | (0<<DDA1) |
(0<<DDA0);

```

```
// State: Bit7=T Bit6=T Bit5=T Bit4=T Bit3=T Bit2=T
Bit1=T Bit0=T
PORTA=(0<<PORTA7) | (0<<PORTA6) | (0<<PORTA5) |
(0<<PORTA4) | (0<<PORTA3) | (0<<PORTA2) |
(0<<PORTA1) | (0<<PORTA0);
```

```
// Port B initialization
// Function: Bit7=Out Bit6=In Bit5=Out Bit4=Out Bit3=In
Bit2=In Bit1=In Bit0=In
DDRB=(1<<DDB7) | (0<<DDB6) | (1<<DDB5) |
(1<<DDB4) | (0<<DDB3) | (0<<DDB2) | (0<<DDB1) |
(0<<DDB0);
// State: Bit7=0 Bit6=T Bit5=0 Bit4=0 Bit3=T Bit2=T
Bit1=T Bit0=T
PORTB=(0<<PORTB7) | (0<<PORTB6) | (0<<PORTB5) |
(0<<PORTB4) | (0<<PORTB3) | (0<<PORTB2) |
(0<<PORTB1) | (0<<PORTB0);
```

```
// Port C initialization
// Function: Bit7=In Bit6=In Bit5=In Bit4=In Bit3=In
Bit2=In Bit1=In Bit0=In
DDRC=(0<<DDC7) | (0<<DDC6) | (0<<DDC5) |
(0<<DDC4) | (0<<DDC3) | (0<<DDC2) | (0<<DDC1) |
(0<<DDC0);
// State: Bit7=T Bit6=T Bit5=T Bit4=T Bit3=T Bit2=T
Bit1=T Bit0=T
PORTC=(0<<PORTC7) | (0<<PORTC6) | (0<<PORTC5) |
(0<<PORTC4) | (0<<PORTC3) | (0<<PORTC2) |
(0<<PORTC1) | (0<<PORTC0);
```

```
// Port D initialization
// Function: Bit7=In Bit6=In Bit5=In Bit4=In Bit3=In
Bit2=In Bit1=Out Bit0=Out
```

```

DDRD=(0<<DDD7) | (0<<DDD6) | (0<<DDD5) |
(0<<DDD4) | (0<<DDD3) | (0<<DDD2) | (1<<DDD1) |
(1<<DDD0);
// State: Bit7=T Bit6=T Bit5=T Bit4=T Bit3=T Bit2=T
Bit1=0 Bit0=0
PORTD=(0<<PORTD7) | (0<<PORTD6) | (0<<PORTD5) |
(0<<PORTD4) | (0<<PORTD3) | (0<<PORTD2) |
(0<<PORTD1) | (0<<PORTD0);

// Timer/Counter 0 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 0 Stopped
// Mode: Normal top=0xFF
// OC0 output: Disconnected
TCCR0=(0<<WGM00) | (0<<COM01) | (0<<COM00) |
(0<<WGM01) | (0<<CS02) | (0<<CS01) | (0<<CS00);
TCNT0=0x00;
OCR0=0x00;

// Timer/Counter 1 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer1 Stopped
// Mode: Normal top=0xFFFF
// OC1A output: Disconnected
// OC1B output: Disconnected
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
// Timer1 Overflow Interrupt: Off
// Input Capture Interrupt: Off
// Compare A Match Interrupt: Off
// Compare B Match Interrupt: Off

```



```

TCCR1A=(0<<COM1A1) | (0<<COM1A0) |
(0<<COM1B1) | (0<<COM1B0) | (0<<WGM11) |
(0<<WGM10);
TCCR1B=(0<<ICNC1) | (0<<ICES1) | (0<<WGM13) |
(0<<WGM12) | (0<<CS12) | (0<<CS11) | (0<<CS10);
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;
OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;

```

```

// Timer/Counter 2 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer2 Stopped
// Mode: Normal top=0xFF
// OC2 output: Disconnected
ASSR=0<<AS2;
TCCR2=(0<<WGM20) | (0<<COM21) | (0<<COM20) |
(0<<WGM21) | (0<<CS22) | (0<<CS21) | (0<<CS20);
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;

```

```

// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=(0<<OCIE2) | (0<<TOIE2) | (0<<TICIE1) |
(0<<OCIE1A) | (0<<OCIE1B) | (0<<TOIE1) | (0<<OCIE0)
| (0<<TOIE0);

```

```

// External Interrupt(s) initialization
// INT0: Off
// INT1: Off

```

```

// INT2: Off
MCUCR=(0<<ISC11) | (0<<ISC10) | (0<<ISC01) |
(0<<ISC00);
MCUCSR=(0<<ISC2);

// USART initialization
// USART disabled
UCSRB=(0<<RXCIE) | (0<<TXCIE) | (0<<UDRIE) |
(0<<RXEN) | (0<<TXEN) | (0<<UCSZ2) | (0<<RXB8) |
(0<<TXB8);

// Analog Comparator initialization
// Analog Comparator: Off
// The Analog Comparator's positive input is
// connected to the AIN0 pin
// The Analog Comparator's negative input is
// connected to the AIN1 pin
ACSR=(1<<ACD) | (0<<ACBG) | (0<<ACO) | (0<<ACI) |
(0<<ACIE) | (0<<ACIC) | (0<<ACIS1) | (0<<ACIS0);

// ADC initialization
// ADC Clock frequency: 1000.000 kHz
// ADC Voltage Reference: AREF pin
// ADC High Speed Mode: Off
// ADC Auto Trigger Source: ADC Stopped
ADMUX=ADC_VREF_TYPE;
ADCSRA=(1<<ADEN) | (0<<ADSC) | (0<<ADATE) |
(0<<ADIF) | (0<<ADIE) | (1<<ADPS2) | (0<<ADPS1) |
(0<<ADPS0);
SFIOR=(1<<ADHSM) | (0<<ADTS2) | (0<<ADTS1) |
(0<<ADTS0);

// SPI initialization

```

```

// SPI Type: Master
// SPI Clock Rate: 4000.000 kHz
// SPI Clock Phase: Cycle Start
// SPI Clock Polarity: Low
// SPI Data Order: MSB First
SPCR=(0<<SPIE) | (1<<SPE) | (0<<DORD) | (1<<MSTR) |
(0<<CPOL) | (0<<CPHA) | (0<<SPR1) | (0<<SPR0);
SPSR=(0<<SPI2X);

// TWI initialization
// TWI disabled
TWCR=(0<<TWEA) | (0<<TWSTA) | (0<<TWSTO) |
(0<<TWEN) | (0<<TWIE);

// Alphanumeric LCD initialization
// Connections are specified in the
// Project|Configure|C Compiler|Libraries|Alphanumeric
LCD menu:
// RS - PORTC Bit 0
// RD - PORTC Bit 1
// EN - PORTC Bit 2
// D4 - PORTC Bit 4
// D5 - PORTC Bit 5
// D6 - PORTC Bit 6
// D7 - PORTC Bit 7
// Characters/line: 16
lcd_init(16);

while (1)
{
    baca_cwt();
    kondisi_cwt();
    delay_ms(30);
}

```

}
}

Datasheet ATMEGA 8535

Features

- High-performance, Low-power AVR[®] 8-bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 130 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- Nonvolatile Program and Data Memories
 - 8K Bytes of In-System Self-Programmable Flash
 - Endurance: 10,000 Write/Erase Cycles
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - 512 Bytes EEPROM
 - Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles
 - 512 Bytes Internal SRAM
 - Programming Lock for Software Security
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescalers and Compare Modes
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Four PWM Channels
 - 8-channel, 10-bit ADC
 - 8 Single-ended Channels
 - 7 Differential Channels for TQFP Package Only
 - 2 Differential Channels with Programmable Gain at 1x, 10x, or 200x for TQFP Package Only
 - Byte-oriented Two-wire Serial Interface
 - Programmable Serial USART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated RC Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby and Extended Standby
- I/O and Packages
 - 32 Programmable I/O Lines
 - 40-pin PDIP, 44-lead TQFP, 44-lead PLCC, and 44-pad QFN/MLF
- Operating Voltages
 - 2.7 - 5.5V for ATmega8535L
 - 4.5 - 5.5V for ATmega8535
- Speed Grades
 - 0 - 8 MHz for ATmega8535L
 - 0 - 16 MHz for ATmega8535



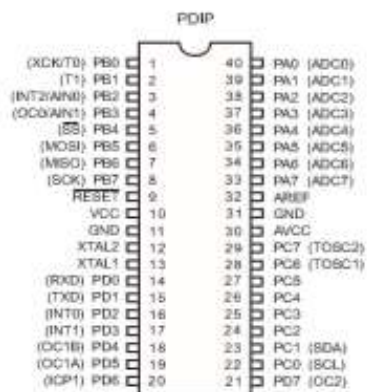
8-bit AVR[®]
Microcontroller
with 8K Bytes
In-System
Programmable
Flash

ATmega8535
ATmega8535L

2501K-AVR-10/06



Figure 1. Pinout ATmega8535



Datasheet Servo MG996R

This High-Torque MG996R Digital Servo features metal gearing resulting in extra high 10kg stalling torque in a tiny package. The MG996R is essentially an upgraded version of the famous MG995 servo, and features upgraded shock-proofing and a redesigned PCB and IC control system that make it much more accurate than its predecessor. The gearing and motor have also been upgraded to improve dead bandwidth and centering. The unit comes complete with 30cm wire and 3 pin 'S' type female header connector that fits most receivers, including Futaba, JR, GWS, Cirrus, Blue Bird, Blue Arrow, Corona, Berg, Spektrum and Hitec. This high-torque standard servo can rotate approximately 120 degrees (60 in each direction). You can use any servo code, hardware or library to control these servos, so it's great for beginners who want to make stuff move without building a motor controller with feedback & gear box, especially since it will fit in small places. The MG996R Metal Gear Servo also comes with a selection of arms and hardware to get you set up nice and fast!

Specifications

Weight: 55 g

Dimension: 40.7 x 19.7 x 42.9 mm approx.

Stall torque: 9.4 kgf cm (4.8 V), 11 kgfcm (6 V)

Operating speed: 0.17 s/60° (4.8 V), 0.14 s/60° (6 V)

Operating voltage: 4.8 V a 7.2 V

Running Current 500 mA

Stall Current 2.5 A (6V)

Dead band width: 5 μs

Stable and shock proof double ball bearing design

Temperature range: 0 °C –4.8 V a 7.2 V 900 mA (6V)

double ball bearing design

55 °C